

## Capitolul 6

### 6. SURSE DE ALIMENTARE DE CURENT CONTINUU

În foarte multe aplicații este necesară alimentarea instalațiilor și aparatelor electrice în curent continuu. Sursa de alimentare cu energie electrică este în majoritatea cazurilor rețeaua electrică alternativă trifazată de distribuție a energiei electrice.

Transformarea energiei electromagnetice de curent alternativ în energie electromagnetică de curent continuu se realizează cu ajutorul circuitelor redresoare, prin procesul de redresare.

Un *redresor* este un circuit care convertește unde bidirecționale în unde monodirecționale, sau convertește puterea de curent alternativ în putere de curent continuu.

Schema bloc a unei *surse de alimentare de curent continuu* pornind de la rețeaua de curent alternativ este prezentată în figura 6.1.

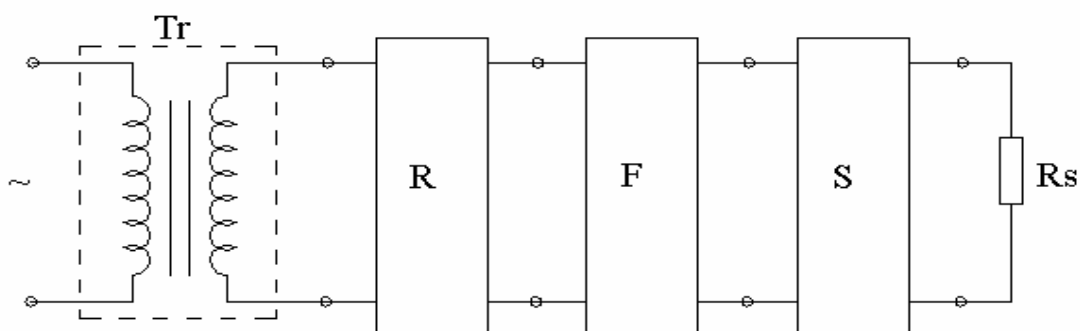


Fig. 6.1.

*Transformatorul (Tr)* are rolul de a modifica tensiunea alternativă preluată din rețeaua de alimentare cu energie electrică, conform valorii tensiunii continue necesare consumatorului. Separarea galvanică dintre rețeaua electrică și circuitul electronic alimentat reprezintă unul din marile avantaje pe care le oferă transformatorul pentru protejarea împotriva electrocutării.

*Blocul redresor (R)* propriu-zis conține în structura sa elemente redresoare care permit conducția curentului electric numai într-un sens. Ca elemente redresoare se pot utiliza: diode cu vid sau cu gaz, diode redresoare semiconductoare, tiristoare. S-au impus în momentul de față, ca elemente de redresare, diodele redresoare semiconductoare și tiristoarele. Tensiunea obținută la ieșirea blocului redresor R conține în afara componentei continue și componente alternative. Deoarece aparatura electronică necesită pentru alimentare o tensiune continuă cu componente alternative cât mai mici, la ieșirea din redresor se conectează un circuit de filtrare F sau de netezire.

*Filtrul (F)* are rolul de a micșora componentele alternative, acumulând energie în intervalul de timp când tensiunea crește și cedând energie consumatorului când tensiunea scade. Filtrul lasă să treacă componentele de frecvență joasă și oprește componentele de frecvență ridicată, de unde și caracterul său „trece jos”.

*Stabilizatorul (S)* are rolul de a menține tensiunea continuă de alimentare la o valoare constantă, indiferent de variațiile sarcinii ( $R_s$ ) sau ale tensiunii rețelei.

## **6.1. Clasificarea redresoarelor**

- În funcție de posibilitatea de a furniza o tensiune de valoare reglabilă, redresoarele se împart în:
  - a. redresoare necomandate - se realizează cu diode și furnizează la ieșire o tensiune de valoare fixă;
  - b. redresoare comandate - se realizează cu tiristoare sau cu triace și furnizează la ieșire o tensiune de valoare reglabilă.

- În funcție de numărul de faze ale transformatorului de alimentare redresoarele se pot clasifica în:
  - a. redresoare monofazate;
  - b. redresoare trifazate;
  - c. redresoare polifazate.
  
- În funcție de numărul alternanțelor redresate, redresoarele pot fi:
  - a. redresoare monoalternanță care redresează o singură alternanță a tensiunii alternative de alimentare;
  - b. redresoare dublă alternanță care redresează ambele alternanțe ale tensiunii alternative.

## 6.2. Redresorul monofazat

### 6.2.1. Redresorul monoalternanță

Redresorul monoalternanță, sau redresorul simplă alternanță, cu sarcină rezistivă  $R_s$  poate fi realizat conform schemei din figura 6. 2.

Analizând funcționarea redresorului reiese că în semiperioada în care dioda este polarizată direct, dioda conduce lăsând să treacă un curent  $i_A(t)$ , care dă o cădere de tensiune  $u_s(t)$  la bornele sarcinii. În semiperioada în care dioda este polarizată invers dioda se blochează și curentul prin circuit este practic nul.

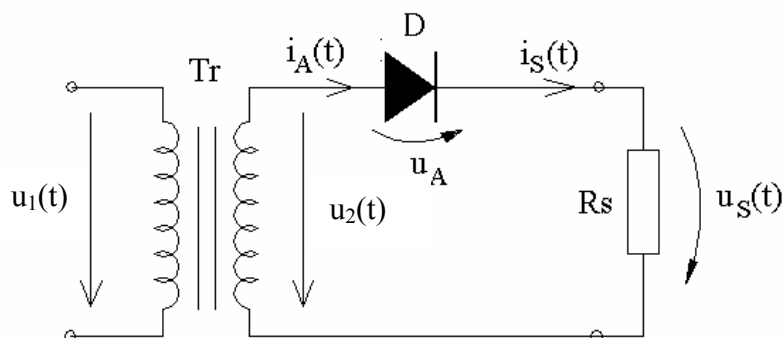


Fig. 6.2.

În figura 6.3 se prezintă formele de variație în timp pentru tensiunea alternativă  $u_2$  din secundarul transformatorului, tensiunea  $u_s$  de la bornele rezistenței de sarcină și curentul  $i_s$  prin rezistența de sarcină.

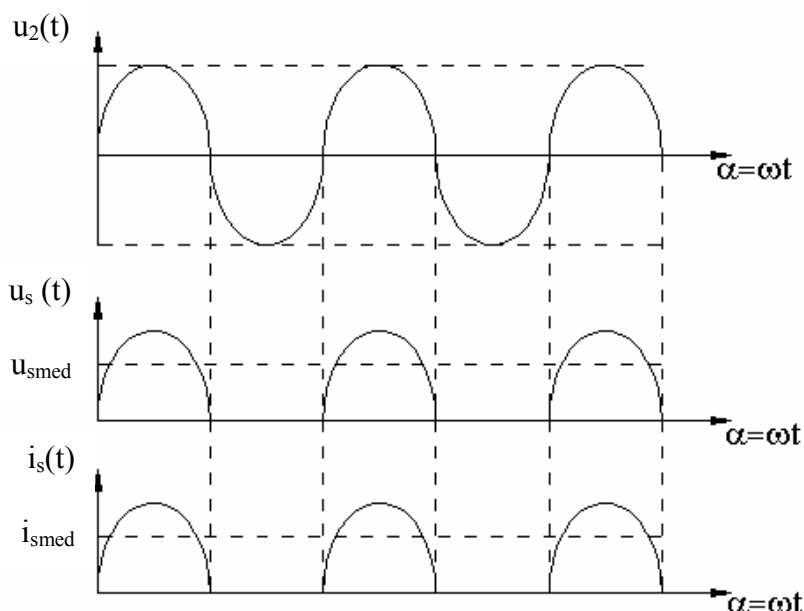


Fig. 6.3.

Amplitudinea  $U_{2m}$  a tensiunii din secundarul transformatorului poate atinge o valoare cel mult egală cu tensiunea maximă admisibilă din catalog a diodei; altfel dioda se străpunge.

Valoarea medie a tensiunii redresate ( $U_{smed} = \frac{U_{2max}}{\pi}$ ), valoarea medie a curentului prin sarcină ( $I_{smed} = \frac{U_{smed}}{R_s} = \frac{U_{smax}}{\pi R_s}$ ), puterea de curent continuu absorbită de sarcină ( $P_s = \frac{4}{\pi^2} \frac{U_{2ef}^2}{R_s}$ ), puterea de curent alternativ absorbită de la rețea ( $P_a = \frac{1}{2} \frac{U_{2ef}^2}{R_s}$ ), randamentul redresorului ( $\eta = \frac{4}{\pi^2} = 40,5\%$ ) și factorul de ondulație ( $\gamma = \frac{\pi}{2} = 1,57$ ) sunt calculate în [1,2].

### 6.2.2. Redresorul dublă alternanță

Redresorul monofazat dublă alternanță se poate realiza sub forma a două montaje fundamentale:

- montajul cu transformator cu priză mediană în secundar;
- montajul cu punte de diode.

Redresarea cu ajutorul primului montaj necesită utilizarea a două diode redresoare și a unui transformator cu priză mediană în secundar, iar redresarea cu cel de-al doilea montaj necesită patru diode redresoare și un transformator obișnuit.

Existența punților de diode integrate a făcut posibilă utilizarea cu mai mare ușurință a redresorului cu punte de diode.

#### 6.2.2.1. Redresorul cu transformator cu priză mediană în secundar

Schema unui redresor cu transformator cu priză mediană în secundar este prezentată în figura 6.4, iar formele de undă pentru tensiuni și curenți sunt prezentate în figura 6.5.

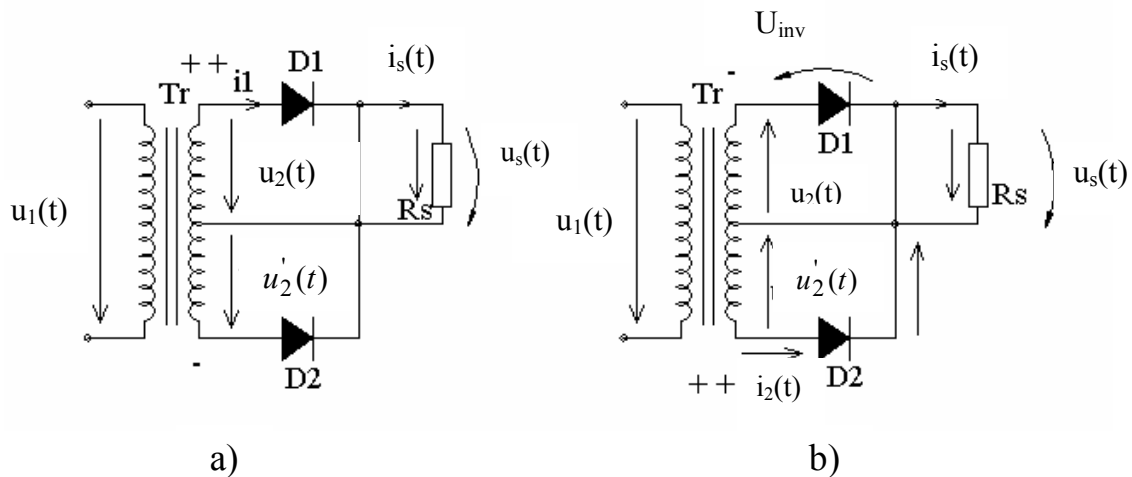


Fig. 6.4.

Tensiunea pe o jumătate a secundarului este egală cu tensiunea pe cealaltă jumătate, dar în opoziție de fază. Tensiunea  $u_2$  are expresia:

$$u_2(t) = U_{2m} \sin \omega t = U_{2m} \sin \alpha \quad (6.1)$$

Pentru analiza mai ușoară a funcționării circuitului redresorului, se consideră că diodele sunt complet blocate atunci când sunt polarizate invers și se neglijează rezistența înfășurării secundare a transformatorului.

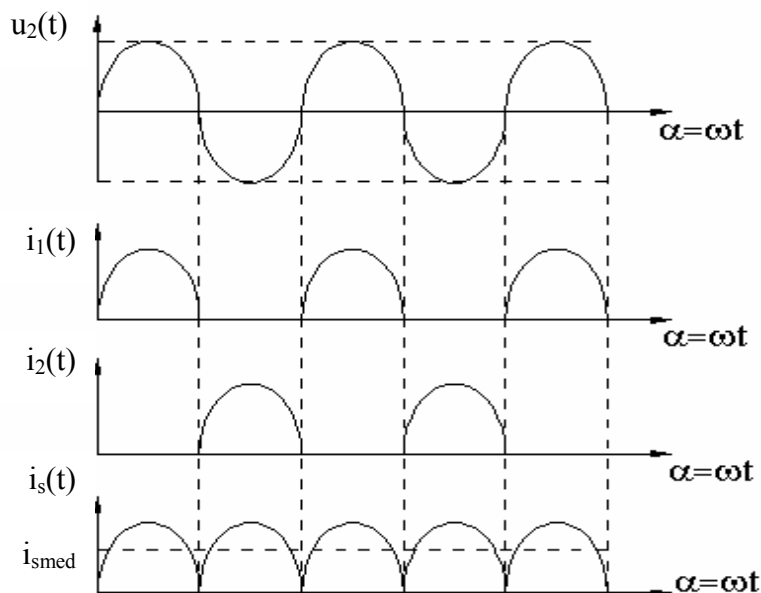


Fig. 6.5.

În alternanța pozitivă ( $u_2(t) > 0$ ) conduce dioda  $D_1$  și  $u_2(t)$  se aplică rezistenței de sarcină  $R_S$ . În alternanța negativă, dioda  $D_1$  este blocată și conduce dioda  $D_2$ , care aplică la ieșire pe  $R_S$  tensiunea  $u_2'(t)$  cu aceeași polaritate ca în alternanța precedentă. În acest fel, prin rezistența de sarcină  $R_S$  trece un curent în același sens în fiecare semiperioadă.

Valoarea medie care se obține pentru tensiunea sau curentul redresat va fi de două ori mai mare decât valoarea medie pentru redresorul mono alternanță, deoarece conține de două ori mai multe alternanțe în același interval de timp. Rezultă o eficiență sporită a redresorului dublă alternanță în comparație cu redresorul mono alternanță.

Dezavantajele acestui tip de redresor față de redresorul monoalternanță sunt următoarele:

- transformatorul este mai scump datorită prizei mediane și a numărului dublu de spire din secundar;

- diodele trebuie să suporte o tensiune inversă de două ori mai mare  

$$U_{inv\ max} = 2U_{2\ max} .$$

În continuare se vor calcula: *curentul mediu  $I_{smed}$  prin rezistența de sarcină, tensiunea medie  $U_{smed}$  la bornele rezistenței de sarcină, coeficientul de reglaj  $\Re[\%]$ , coeficientul (factorul) de ondulație  $\gamma$* . De asemenea, se va stabili *ecuația caracteristicii externe a redresorului*.

➤ *Curentul mediu prin rezistența de sarcină*

Curentul prin rezistența de sarcină are două componente, conform relației următoare:

$$i_s(t) = i_1(t) + i_2(t) \quad (6.2)$$

și datorită redresării

$$i_s(t) = I_{sm} |\sin \omega t| \quad . \quad (6.3)$$

Dacă rezistența internă a unei diodei este  $r_i$ , atunci valoarea curentului maxim prin rezistența de sarcină este

$$I_{sm} = \frac{U_{2m}}{R_s + r_i} \quad (6.4)$$

Chiar dacă  $u_2(t)$  are valoarea medie nulă, curentul redresat prin sarcină are o valoare medie diferită de zero, care se calculează în continuare:

$$\begin{aligned} I_{smed} &= \frac{1}{T} \cdot \int_0^T i(\alpha) d\alpha = \frac{1}{2\pi} \left[ \int_0^\pi i(\alpha) d\alpha + \int_\pi^{2\pi} i(\alpha) d\alpha \right] = \frac{1}{2\pi} \left[ 2 \int_0^\pi I_{sm} \sin \alpha d\alpha \right] = \\ &= \frac{1}{\pi} I_{sm} (-\cos \alpha) \Big|_0^\pi = \frac{I_{sm}}{\pi} (1+1) = \frac{2I_m}{\pi} \end{aligned} \quad (6.5)$$

➤ *Tensiunea medie la bornele rezistenței de sarcină*

Tensiunea medie pe rezistența de sarcină va fi:

$$U_{smed} = I_{smed} \cdot R_s = \frac{2I_{sm}}{\pi} R_s \quad (6.6)$$

și folosind relația (6.4) obținem

$$U_{smed} = \frac{2R_s}{\pi} \cdot \frac{U_{2m}}{R_s + r_i} = \frac{2U_{2m}}{\pi} \cdot \frac{R_s}{R_s + r_i} = \frac{2U_{2m}}{\pi} \cdot \frac{1}{1 + \frac{r_i}{R_s}} \quad (6.7)$$

Pentru funcționarea în gol ( $R_s \rightarrow \infty$ ) tensiunea la ieșire va fi

$$U_{smed\infty} = \frac{2U_{2m}}{\pi} \quad (6.8)$$

➤ *Coeficientul de reglaj al redresorului se calculează cu ajutorul relației*

$$\Re[\%] = \frac{U_{smed\infty} - U_{smed}}{U_{smed}} \cdot 100 \quad (6.9)$$

și exprimă variația procentuală a tensiunii de la mers în gol la mers în sarcină.

➤ *Caracteristica externă a redresorului se trasează grafic folosind o funcție de tipul  $U_{smed} = f(I_{smed})$ .*

$$U_{smed} = \frac{2U_{2m}}{\pi} \cdot \frac{R_s}{R_s + r_i} = \frac{2U_{2m}}{\pi} \cdot \frac{1}{1 + \frac{r_i}{R_s}} \quad (6.10)$$

Ținem seama că  $R_s = \frac{U_{smed}}{I_{smed}}$  și înlocuind în relația de mai sus obținem:



$$U_{smed} = \frac{2U_{2m}}{\pi} \cdot \frac{1}{1 + \frac{r_i}{\frac{U_{smed}}{I_{smed}}}} = \frac{2U_{2m}}{\pi} \cdot \frac{1}{1 + \frac{r_i \cdot I_{smed}}{U_{smed}}} = \frac{2U_{2m}}{\pi} \cdot \frac{U_{smed}}{U_{smed} + r_i \cdot I_{smed}} \quad (6.11)$$

și împărțind cu  $U_{smed}$  ambii membri ai relației (6.11)

$$1 = \frac{2U_{2m}}{\pi} \cdot \frac{1}{U_{smed} + r_i \cdot I_{smed}} \Rightarrow 2U_{2m} = \pi U_{smed} + \pi r_i \cdot I_{smed}$$

În final se obține ecuația caracteristicii externe a redresorului

$$U_{smed} = \frac{2U_{2m}}{\pi} - r_i \cdot I_{smed} \quad (6.12)$$

care conduce la graficul din figura 6.6.

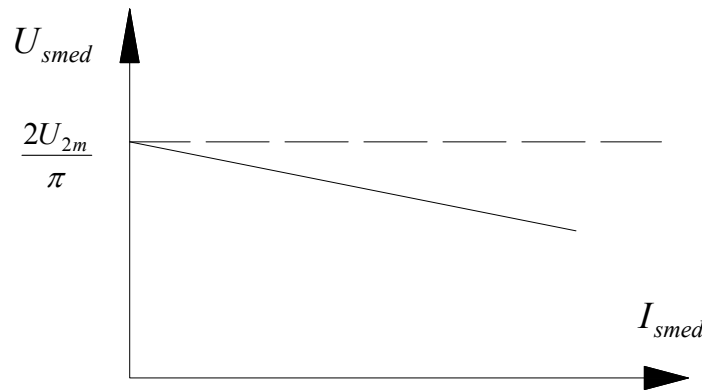


Fig. 6.6.

➤ *Coeficientul (factorul) de ondulație* al redresorului se definește ca raportul dintre amplitudinea componentei alternative de frecvență minimă a curentului și mărimea componentei continue a curentului la bornele sarcinii:

$$\gamma = \frac{I_{saef}}{I_{smed}} \quad (6.13)$$

Conform relației (6.2) știm că  $i_s(t) = i_1(t) + i_2(t)$  și analizând reprezentarea grafică din figura 6.5, curentul prin sarcină se poate scrie astfel:

$$i_s(t) = i_1(t) + i_1\left(t - \frac{T}{2}\right) \quad (6.14)$$

Amplitudinile curenților prin diodele redresoare sunt egale ( $I_{1m} = I_{2m} = I_m$ ). Prin dezvoltare în serie Fourier se obține:

$$\begin{aligned} i_s(t) &= \frac{I_m}{\pi} + \frac{I_m}{2} \cdot \sin \omega t - \frac{2I_m}{3\pi} \cdot \cos 2\omega t \dots + \frac{I_m}{\pi} + \frac{I_m}{2} \cdot \sin(\omega t - \pi) - \frac{2I_m}{3\pi} \cdot \cos(2\omega t - 2\pi) - \dots = \\ &= \frac{2I_m}{\pi} - \frac{4I_m}{3\pi} \cdot \cos 2\omega t - \dots \end{aligned}$$

Folosind definiția coeficientului de ondulație și notațiile din relația (6.13) se poate scrie:  $I_{smed} = \frac{2I_m}{\pi}$  și  $I_{saef} = \frac{4I_m}{3\pi}$ , deci coeficientul de ondulație pentru redresorul dublă alternanță cu transformator cu priză mediană este

$$\gamma = \frac{\frac{4I_m}{3\pi}}{\frac{2I_m}{\pi}} = \frac{2}{3} \cong 0,67. \quad (6.15)$$

Comparând valoarea factorului de pulsație la redresorul dublă alternanță cu valoarea factorului de pulsație la redresorul monoalternanță ( $\gamma = 1,57$ ) se constată superioritatea redresorului dublă alternanță.

#### 6.2.2.2. Redresorul cu punte de diode

Se consideră montajul din figura 6.7 în care tensiunea  $u_2(t)$  din secundarul transformatorului este o tensiune alternativă, reprezentată ca în figura 6.8. Rezistența  $R_s$  de sarcină reprezintă un consumator oarecare, de exemplu un echipament electronic, un motor electric de curent continuu, etc.

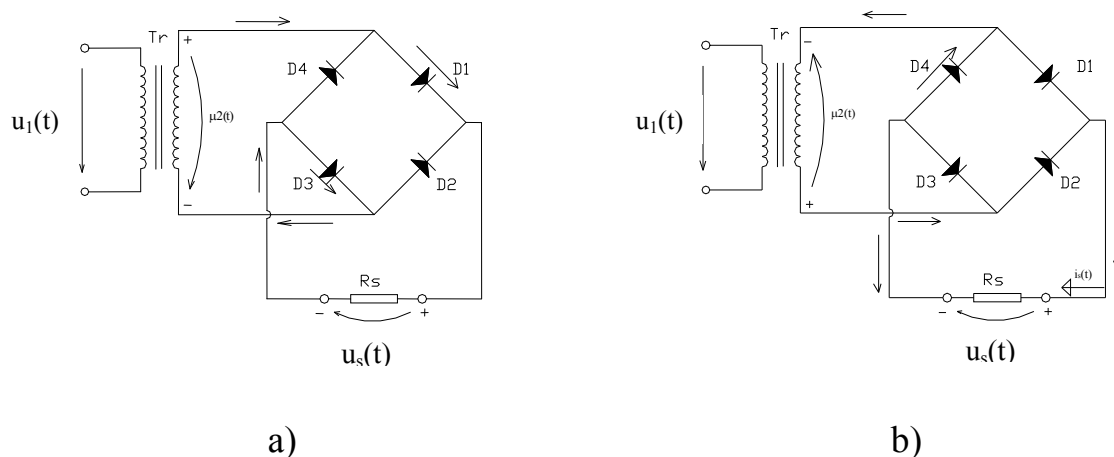


Fig. 6.7.

Atunci când tensiunea  $u_2(t)$  este pozitivă (fig. 6.7.a), curentul circulă de la borna secundarului transformatorului marcată cu semnul + prin dioda  $D_1$ , rezistența de sarcină  $R_s$ , dioda  $D_3$  și apoi ajunge la borna secundarului transformatorului marcată cu semnul -. Traseul curentului electric este indicat prin săgeți.

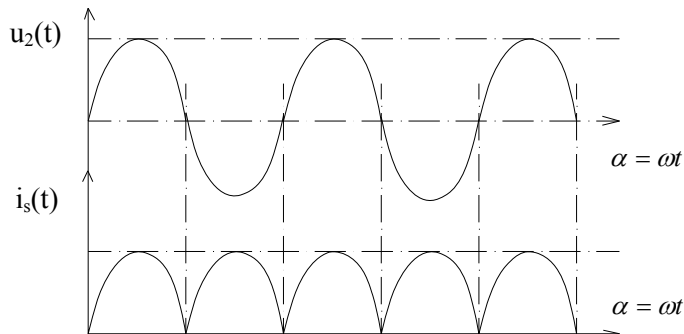


Fig. 6.8.

Atunci când tensiunea  $u_2(t)$  este negativă (fig. 6.7.b), curentul circulă de la borna transformatorului aflată la un potențial mai ridicat către borna aflată la un potențial mai coborât, pe traseul indicat prin săgeți: dioda  $D_2$ , rezistența de sarcină  $R_s$ , dioda  $D_4$ .

Se observă că rezistența de sarcină  $R_s$  este străbătută de un curent  $i_s(t)$  care nu își schimbă sensul, adică de un curent continuu. Graficul de variație în timp al acestui curent se poate vedea în figura 6.8.

Tensiunea  $u_s(t)$  la bornele sarcinii este o tensiune redresată pentru că nu își schimbă semnul. Se spune că tensiunea  $u_s(t)$  s-a obținut prin redresarea dublă alternanță a tensiunii alternative de intrare  $u_2(t)$ . Montajul prezentat în figura 6.7 se numește *redresor dublă alternanță*, iar ansamblul format din cele patru diode care intră în componența sa se numește *punte redresoare* (de diode).